

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO -MINERAS

RESUMEN DEL ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL FLANCO
NORORIENTAL DE LA SERRANIA DE SAN JACINTO
Y DE LA ZONA LITORAL DEL
GOLFO DE MORROSQUILLO
Informe 2069

Por:

ARMANDO DIAZ-GRANADOS

CONVENIO BILATERAL ENTRE LOS GOBIERNOS DE
COLOMBIA Y HOLANDA

Proyecto:

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ALGUNAS POBLACIONES
DE LOS DEPARTAMENTOS DE ATLANTICO, BOLIVAR, CORDOBA Y SUCRE

Coordinadores del Proyecto:

C. Alejandro Ulloa C.
INGEOMINAS - COLOMBIA

Hugo R. Schoute
TNO - DGV - INSTITUTE OF APPLIED GEOSCIENCE - HOLANDA

Edwin Gómez V.
EMBAJADA DE HOLANDA

Febrero de 1988

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	8
1. INTRODUCCION	8
1.1. GENERALIDADES	8
1.2. OBJETIVOS	8
1.3. LOCALIZACION DEL AREA	9
1.4. CLIMA	9
1.4.1. PRECIPITACION	9
1.4.2. TEMPERATURA	9
1.4.3. EVAPOTRANSPIRACION	9
1.5. HIDROGRAFIA	9
2. GEOMORFOLOGIA	9
2.1. ZONA LITORAL	9
2.2. ZONTA MONTAÑOSA	12
2.3. ZONA DE COLINAS	12
2.4. ZONA DE LLANURAS	12
2.5. ZONA ALUVIAL	12
3. GEOLOGIA	12
3.1. GENERALIDADES	12
3.2. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA	14
3.2.1. GRUPO CANSONA	14
3.2.1.1. Formación San Cayetano Inferior (Ksi)	14
3.2.1.2. Formación San Cayetano Superior (Tps)	15
3.2.2. GRUPO CARMEN	15
3.2.2.1. Formación San Jacinto (Tsj)	15
3.2.2.2. Formación Ciénaga de Oro (Toco)	15
3.2.2.3. Formación Porquera (Tmp)	15
3.2.2.4. Formación Cerrito (Tpc)	16
3.2.3. GRUPO SINCELEJO	16
3.2.3.1. Formación Sincelejo (Tps)	16
3.2.3.2. Formación Morroa (Tpm)	16
3.2.3.3. Formación Betulia (Qpb)	16
3.2.4. SEDIMENTOS ALUVIALES SIN DIFERENCIACION (Qal)	16
3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	16
3.3.1. REGION INESTABLE	17
3.3.1.1. Anticlinorio de San Antonio	17
3.3.1.2. Sinclinorio de San Onofre	17
3.3.1.3. Anticlinorio de San Jacinto	17
3.3.2. REGION ESTABLE	17
4. LA INVESTICACION GEOELECTRICA	17
4.1. ZONA LITORAL DEL GOLFO DE MORROSQUILLO	18
4.1.1. MAPA DE PROFUNDIDAD DEL TECHO DE LA BASE IMPERMEABLE	21
4.1.2. CORTES GEOELECTRICOS	21
4.1.2.1. Corte A-A'	21
4.1.2.2. Corte B-B'	21
4.1.2.3. Corte C-C'	24
4.1.2.4. Corte D-D'	24
4.2. FLANCO NORORIENTAL DE LA SERRANIA DE SAN JACINTO	26
4.2.1. MAPA DEL TECHO DE LA FORMACION MORROA	29
4.2.2. MAPA DEL ACUIFERO POTENCIAL DE LA FORMACION BETULIA	30

	<u>Página</u>
5. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS	30
5.1. INVENTARIO	30
5.1.1. ZONA LITORAL DEL GOLFO DE MORROSQUILLO	30
5.1.2. FLANCO NORORIENTAL DE LA SERRANIA DE SAN JACINTO	32
5.1.2.1. Sahagún	32
5.1.2.2. Chinú	32
5.1.2.3. San Andrés de Sotavento	32
5.1.2.4. Sampués	32
5.1.2.5. Corozal	32
5.1.2.6. Sucre	32
5.1.2.7. Los Palmitos	32
5.1.2.8. Ovejas	32
5.2. HIDROQUIMICA	32
5.3. MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA	33
5.4. PERFORACIONES Y CONSTRUCCION DE POZOS	34
6. CONCLUSIONES	34
7. BIBLIOGRAFIA	37

FIGURAS

1. Mapa de Localización	10
2. Histograma de precipitación media mensual en la Estación Corozal	11
3. Variación mensual de la temperatura en la Estación Corozal	11
4. Zonas Geomorfológicas	13
5. Columna estratigráfica generalizada del área de San Jacinto - Golfo de Morrosquillo	14
6. Tipos básicos de curvas geoelectricas para la zona litoral del Golfo de Morrosquillo	19
7. Mapa de profundidad del techo de la base impermeable	22
8. Corte geoelectrico A-A' - Zona litoral	23
9. Corte geoelectrico B-B' - Zona litoral	23
10. Corte geoelectrico C-C'. Zona litoral del Golfo de Morrosquillo - Flanco W de la Serranía de San Jacinto	24
11. Corte geoelectrico D-D'. Zona litoral del Golfo de Morrosquillo - Serranía de San Jacinto - Galeras	25
12. Tipos básicos de curvas geoelectricas para el área flanco nororiental de la Serranía de San Jacinto	27
13. Correlación Deuterio - Oxígeno-18	34

TABLAS

1. Correlación entre valores de resistividad y la litología	18
2. Características hidrogeológicas de las formaciones geológicas del área Serranía de San Jacinto y Golfo de Morrosquillo	31
3. Perforaciones de estudio	35
4. Pozos de producción	36

PLANCHAS
(en bolsillo)

1. Mapa geológico del área flanco nororiental de la Serranía de San Jacinto y Zona litoral del Golfo de Morrosquillo.
2. Mapa de ubicación de sondeos eléctricos verticales en el flanco nororiental de la Serranía de San Jacinto y Zona litoral del Golfo de Morrosquillo.
3. Mapa del techo de la Formación Morroa.
4. Mapa del acuífero potencial de la Formación Betulia.

ANEXOS

1. Sondeos eléctricos vertiales (S.E.V.) referenciados en el texto.

* * *

RESUMEN

En el presente informe se sintetizan los resultados de las investigaciones geológicas, geoelectricas, hidroquímicas, inventarios de fuentes de aguas, análisis de isótopos estables, perforaciones exploratorias y ensayos de acuíferos, efectuadas en el área del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo.

El área de estudio se encuentra morfológicamente dividida en las zonas Litoral, Montañosa, de Colinas, de Llanuras y Aluvial, conformadas por rocas sedimentarias cretácicas turbídicas perteneciente al Grupo Canzona, por rocas sedimentarias terciarias de origen marino pertenecientes al Grupo Carmen y por rocas y sedimentos de carácter transicional y continental, pertenecientes al Grupo Sincelejo.

En toda el área se realizaron e interpretaron 1313 SEV, 255 de ellos en la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo y 1058 en el Flanco Oriental de la Serranía de San Jacinto. Una vez realizada la interpretación preliminar de los SEV, se perforaron los pozos exploratorios, deduciendo de sus registros físicos el modelo geoelectrico el cual se aplicó a los SEV ajustándolos, usando para ellos un computador.

En la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo se ubicaron y perforaron 6 pozos de estudio en las localidades de Coveñas, Puerto Viejo, Berruga y San Onofre con una profundidad entre 80 y 150 m. En el Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto se perforaron 25 pozos exploratorios en las localidades de Sahagun, Chinú, Las Llanadas, Chapineros, Sincelejo, Corozal, Betulia, Sucre, Since, San Pedro, Buenavista, Rovira y Galeras con profundidades entre 60 y 300 m. Además se construyeron 12 pozos de producción para abastecimiento de algunas poblaciones.

De acuerdo a su litología las formaciones cretácicas y terciarias de origen marino presentan baja permeabilidad, almacenando

agua de mala calidad química por el alto contenido de sólidos disueltos totales. Las formaciones terciarias de origen transicional y continental presentan mejores condiciones de permeabilidad por su granulometría media a gruesa, conteniendo agua de mejor calidad química. Las formaciones recientes de origen fluvio-lacustre y los rellenos aluviales del Litoral del Golfo de Morrosquillo, almacenan agua cuya calidad química está afectada, en la Zona Litoral, por la intrusión marina y en otras zonas por las variaciones estacionales de períodos secos y húmedos, donde los procesos de evaporación concentran gran cantidad de sólidos que son lixiviados por lluvias esporádicas, y el agua proveniente de estos acuíferos es poco dulce.

1. INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

Dentro de las metas propuestas en el proyecto "Abastecimiento de Agua potable en algunas poblaciones de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba y Sucre" ejecutado por la División de Hidrogeología del INGEOMINAS en colaboración con el TNO-DGV, Institute of Applied Geoscience de Holanda, está la divulgación de los resultados de algunas de las investigaciones hidrogeológicas que se realizaron en años anteriores dentro del marco del Convenio de Cooperación Técnica Bilateral entre los gobiernos de Colombia y Holanda. Bajo este criterio se preparó el presente trabajo con la colaboración del geólogo Alcides Huguett G., donde se resume y complementa el informe correspondiente a la investigación realizada por INSFOPAL y el TNO-DGV del "Estudio Hidrogeológico del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral Golfo de Morrosquillo".

1.2. OBJETIVOS

El objetivo propuesto en la realización del proyecto por parte del INSFOPAL y TNO-DGV fue "la determinación del posible aporte de agua subterránea al abastecimiento de agua potable en la región, como alternativa al abastecimiento por agua superficial".

Además en el presente trabajo se propone:

Definir y evaluar el potencial de aguas subterráneas en el área.

Diferenciar zonas potencialmente explotables en aguas subterráneas.

Recomendar la planificación, manejo y uso del agua subterránea en la zona.

1.3. LOCALIZACION DEL AREA

La Serranía de San Jacinto al nor-este del país, está situada en los departamentos de Sucre y Bolívar y en menor extensión en el departamento de Córdoba.

La zona de investigación tiene un área aproximada de 4.500 km² dentro de las coordenadas Y : 820.000 a Y : 905.000 y X : 1.450.000 a X : 1.570.000 (Fig. 1).

1.4. CLIMA

El clima de la zona se define como cálido de sabana tropical con períodos húmedos y secos en el flanco oriental de la Serranía de San Jacinto y de sabana xerófila-árida en el litoral del Golfo de Morrosquillo.

1.4.1. PRECIPITACION

Con base en los datos disponibles de las estaciones La Florida (San Marcos), La Esmeralda, Corozal, Sincelejo, Sahagún, Zambrano y Carmen de Bolívar y completando las series de las estaciones con datos parciales, se estimó un valor promedio anual ponderado (período 1945-1970) del orden de 1.234 mm, con períodos húmedos de mayo a noviembre y períodos secos de diciembre a abril como se presenta en el histograma de la estación Corozal (Fig. 2).

1.4.2. TEMPERATURA

La temperatura media anual en la zona es de 27°C, con máximas de 38 y mínimas de 18°C. Su variación (promedio) durante el año en la estación Corozal, se indica en la Figura 3.

1.4.3. EVAPOTRANSPIRACION

Con los datos meteorológicos disponibles en las estaciones mencionadas y usando el método de Thornthwaite para estimación de la evapotranspiración potencial, se calculó un promedio anual ponderado para el área, de 1.749 mm.

Usando el método de Turk donde la evapotranspiración es una función de la precipitación, aquella se estima en 1148 mm anuales.

1.5. HIDROGRAFIA

La Serranía de San Jacinto es divisoria de aguas. Al oriente los arroyos desembocan en el río San Jorge y en el río Magdalena, mientras que al occidente desembocan en el mar Caribe. La mayoría de ellos tienen carácter torrencial y solamente corren en época de invierno. Los arroyos más importantes son: Arroyo Cascajo, Pechelin, La Venta y Petaca en la zonalitoral del Golfo de Morrosquillo, y los arroyos Mancomajan y Corozal en el flanco nororiental de la Serranía de San Jacinto.

2. GEOMORFOLOGIA

El área de estudio se ha dividido en cinco zonas de acuerdo con su morfología, denominadas Zona Litoral, Zona Montañosa, Zona de Colinas, Zona de Llanuras y Zona Aluvial (Fig. 4).

2.1. ZONA LITORAL

Corresponde al litoral del Golfo de Morrosquillo, al oeste de la Serranía de Toluvié, con una área aproximada de 300 km². Es una zona plana conformada por sedimentos arcillo-arenosos de origen lacustre, y paleocanales con depósitos de material clástico continental proveniente de las serranías Toluvié, El Aserradero y San Jacinto. Se presentan algunas colinas cónicas que emergen de los terrenos circundantes.

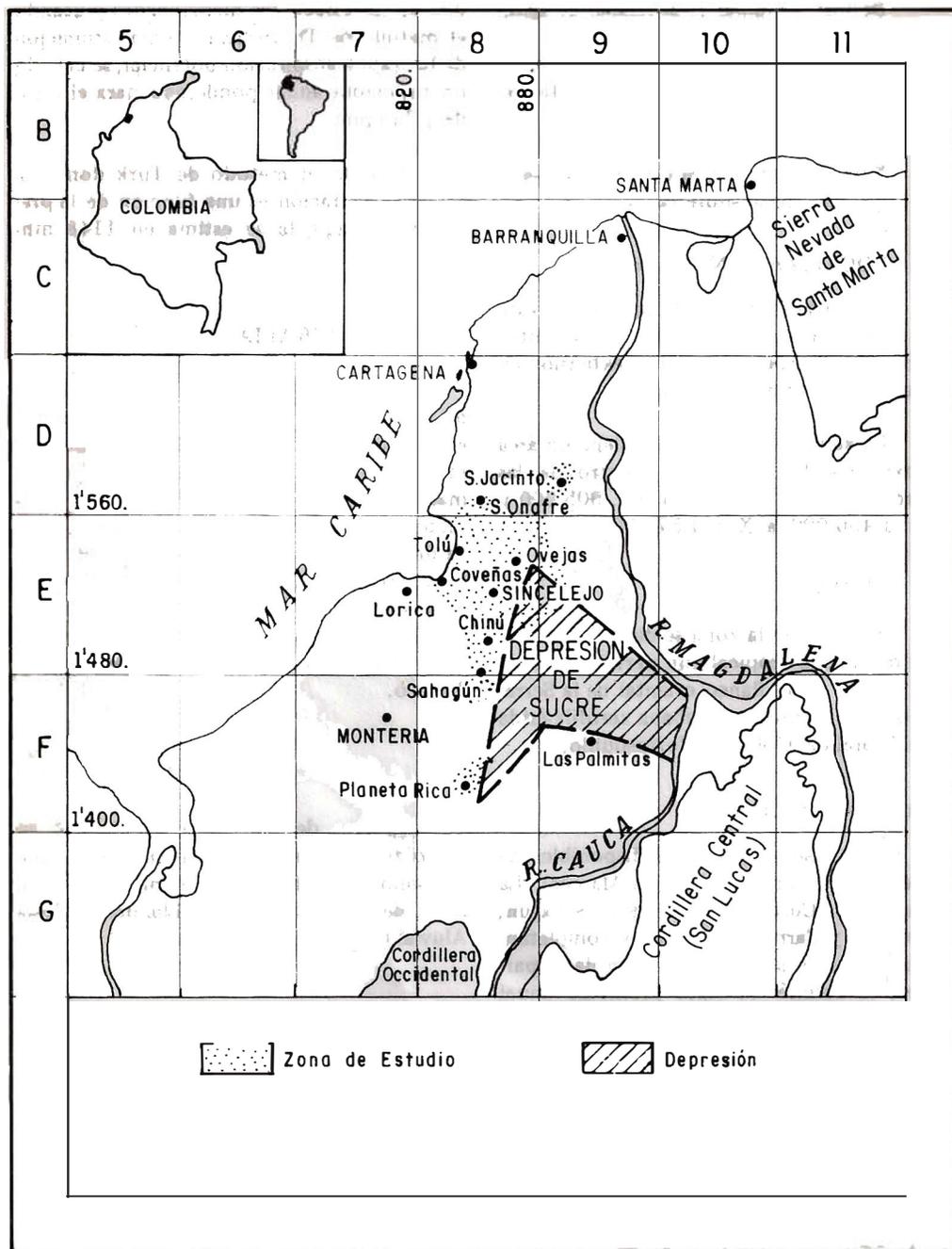


FIG. 1: Mapa de localización

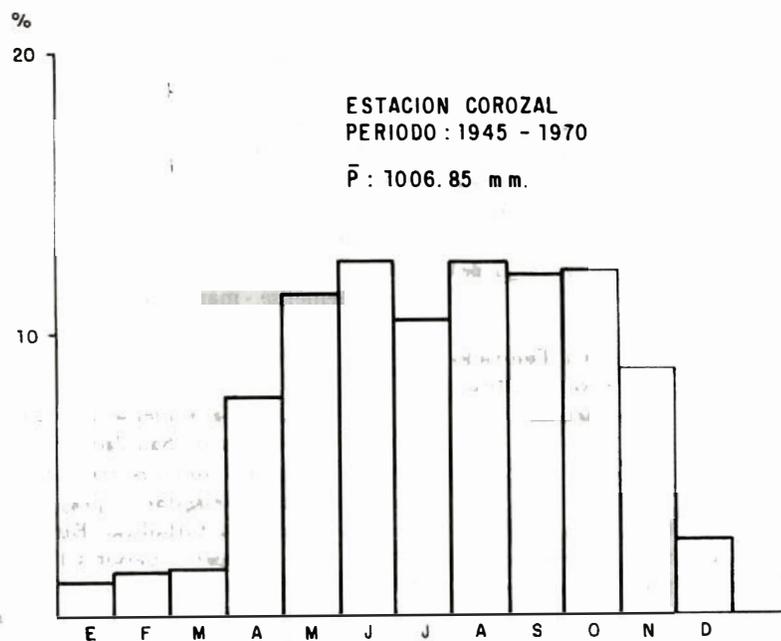


FIG. 2: Histograma de precipitación media mensual en la Estación de Corozal.

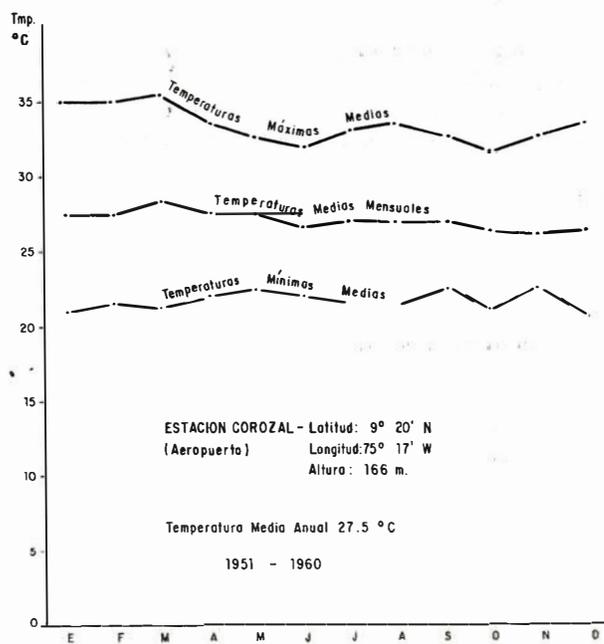


FIG. 3: Variación mensual de la temperatura en la Estación Corozal.

2.2. ZONA MONTAÑOSA

Está constituida por las estribaciones de la Serranía de San Jerónimo al sur del área y por la Serranía de San Jacinto al norte. Sus elevaciones varían entre 300 y 600 m siendo más altas hacia el N-NE. Se caracteriza por presentar cuchillas angostas y alargadas, correspondiendo su topografía rugosa a estructuras de anticlinales estrechos, alargados y comúnmente fallados a lo largo del rumbo.

En la zona entre Sincelejo y Tolviejo se presenta una pequeña depresión constituida por colinas bajas y subredondeadas.

2.3. ZONA DE COLINAS

Paralela y al oriente de la zona montañosa se presenta una serie de colinas de mediana altura a veces redondeadas, que imprime a la topografía un aspecto ondulado. Estas colinas están conformadas por sedimentos arcillo-arenosos y arcillosos depositados en un ambiente transicional.

2.4. ZONA DE LLANURAS

Se localiza hacia el oriente del área y se caracteriza por su topografía plana con una ligera pendiente hacia el este. Se encuentra constituida por depósitos arenosos y arcillosos de origen continental con alturas que varían entre 120 m al oeste y 30 m en las cercanías de los cauces de los ríos y arroyos.

2.5. ZONA ALUVIAL

Es el área más baja de la zona de estudio y está formada principalmente por los cauces de los arroyos y la presencia de bajos y ciénagas relacionadas con la cuenca de los ríos San Jorge y Magdalena en el lado oriental del área investigada.

3. GEOLOGIA

La zona correspondiente al cinturón de San Jacinto está adyacente a la plataforma marina, limitada al este y al oeste por los

lineamientos estructurales de Romeral y Sinú respectivamente (DUQUE, 1984).

3.1. GENERALIDADES

Duque (1984) describe el acrecimiento de San Jacinto basado en tres unidades tectónicas y sedimentarias:

- Cansoniense (tardío) - marino profundo.
- Carmeniense - marino somero.
- Sincelejiense - terrestre.

Rocas del Cansoniense afloran sobre el eje del Cinturón de San Jacinto; los estratos más plegados son los compuestos por pelagitas y hemipelagitas, suprayacidos discordantemente por turbiditas. Estos estratos son de edad Cretáceo superior a Eoceno medio (DÚQUE, 1984) y su depositación es de ambiente marino profundo, marginal al Paleosurco de Romeral (DUQUE, 1979).

El final de este episodio del piso marino profundo y el comienzo del piso marino somero (Carmeniense) está marcado por la inconformidad entre las facies turbídicas y las facies someras suprayacentes. Duque (1984) sugiere el uso de un intervalo de lodolitas hemipelágicas calcáreas con microfau-na (Eoceno medio) que suprayacen a las turbiditas del Cansoniense superior, para marcar la inconformidad entre los pisos, al este de la Serranía de San Jacinto.

Durante el Carmeniense, antes ciclos Carmen y Tubará (DUQUE, 1972) se depositaron principalmente sedimentos terrígenos clásticos con frecuentes cambios de facies, que comprenden edades desde el Eoceno medio hasta el Plioceno inferior y que se encuentran principalmente en el flanco oriental del Cinturón de San Jacinto. Las interpretaciones con base en foraminíferos (DUQUE, 1972, 1973, 1975, 1979) sugieren varios ciclos de depósitos con ambientes de depositación profundos y someros, de todas maneras presentando características de menor profundidad que los depósitos del piso Cansoniense.

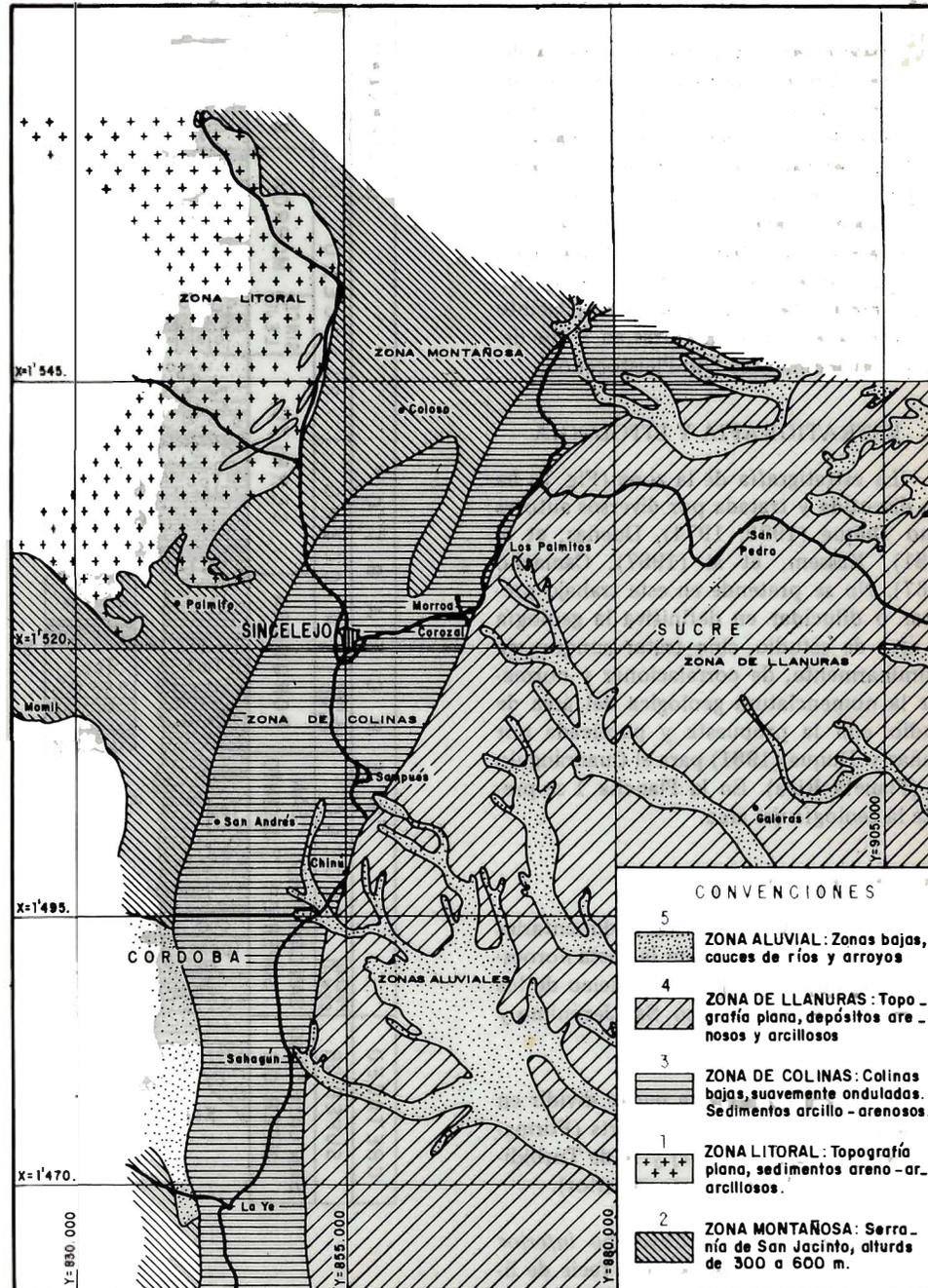


FIG. 4: Zonas geomorfológicas.

arcillosas, interestratificadas con niveles de lutitas negras que tienen abundantes concreciones calcáreas fosilíferas, niveles delgados de areniscas localmente micáceas, un conglomerado basal compuesto por cuarzo y chert negro con matriz arcillosa ocasionalmente calcárea, e intrusivos tonalíticos.

Se correlaciona con el Complejo Chalan (KASSEM et al, 1967), Formación Finca Vieja (HAFFER, 1960). Se le consideró de edad Cretáceo superior.

3.2.1.2. *Formación San Cayetano superior (Tpes)*.- Corresponde a las facies de turbiditas del Grupo Canzona. Se presenta expuesta en el anticlinal de Toluviejo y al norte del área de estudio al oriente de San Onofre. Se encuentra muy fallada y plegada. Consta, hacia la base, de areniscas grauváquicas amarillo-oscuros de grano fino a medio, micáceas, de chert y cuarzo. La matriz es arcillosa, a veces calcárea.

Hacia el tope se presentan areniscas conglomeráticas finas con estratificación gradual, aumentando el tamaño de grano a medida que se asciende estratigráficamente hasta un conglomerado de rocas ígneas (ácidas y básicas) y sedimentarias (cherts y calizas).

Se correlaciona con la Formación Tuchin de Duque (1968) y Arroyo Seco de Cáceres y De Porta (1972). Su edad es Paleoceno - Eoceno.

3.2.2. GRUPO CARMEN

Incluye los sedimentos de los ciclos paleoatimétricos Carmen y Tubará, mencionados anteriormente (DUQUE, 1972) dentro del mismo episodio sedimentario o sea los depósitos marinos de las cuencas dejadas durante el fenómeno diapírico del Ciclo Canzona.

3.2.2.1. *Formación San Jacinto (Tesj)*.- Aflo-
ra principalmente al norte del área en el flanco oriental de la Serranía de San Jacinto. Presenta frecuentes y rápidos cambios

de facies laterales. Consta de calizas síliceas, calizas arcillosas, margas, areniscas localmente micáceas a veces calcáreas, lutitas, algunos niveles conglomeráticos con matriz arenosa e intercalaciones de lutitas y arcillolitas y niveles muy locales de carbón. Se le ha asignado una edad Eoceno medio - Oligoceno inferior y se correlaciona parcialmente con la Formación Toluviejo (KASSEM et al, 1967).

3.2.2.2. *Formación Ciénaga de Oro (Toco)*.-
Aflo-
ra al oeste de La Ye sobre la carretera a Ciénaga de Oro y en una estrecha faja con rumbo SW-NE al oeste de San Andrés de Sotavento.

Es predominantemente arenosa de grano fino a conglomerático con intercalaciones potentes de lutitas arenosas, lutitas carbonosas y carbón. Se correlaciona parcialmente con la Formación Toluviejo (KASSEM et al, 1967). Pertenece al Oligoceno aún cuando es probable que la parte superior sea Mioceno.

3.2.2.3. *Formación Porquera (Tmp)*.- Aflo-
ra en la Serranía de San Jacinto principalmente en el flanco oriental. Al occidente de la Serranía, aflora al sureste de Coveñas y en los alrededores de Palmito. Se presenta como una franja alargada desde las cercanías de la localidad de San Andrés al sur, hasta los alrededores del Carmen de Bolívar al norte del área de estudio, correspondiendo a la facie de Arcillolitas del Ciclo Car-
menense.

Está constituida principalmente por una sedimentación en que se alternan lutitas, arcillolitas, arcillolitas y limolitas arenosas ocasionalmente calcárea con láminas de yeso selenítico e intercalaciones de arenisca. Ocasionalmente hacia el noreste en cercanías de Carmen de Bolívar, presenta concreciones calcáreas con macrofauna. La Edad de esta formación ha sido propuesta por varios autores desde Oligoceno hasta el Mioceno inferior (DUQUE, 1973).

Se correlaciona con la Formación Carmen, de Haffer (1960) y con las zonas de globigerina *Dissimilis* de Petters y Sarmiento (1956).

3.2.2.4. *Formación Cerrito (Tpc)*.- Se encuentra en toda la parte central del área de estudio como una amplia faja con rumbo noreste para terminar bruscamente al oriente de la localidad de Las Piedras, reapareciendo en El Salado al noreste del área de estudio.

La Formación Cerrito, que corresponde a la facie de carbonatos del Ciclo Carmeniense es de tipo transicional con facies marinas y continentales por lo cual la formación presenta cambios frecuentes en su litología y potencia.

La formación está constituida esencialmente por areniscas friables calcáreas con intercalaciones de conglomerados, limolitas, areniscas arcillosas y arcillolitas.

En su parte media y superior presenta un conjunto arcilloso con intercalaciones de areniscas grauváquicas con cemento calcáreo y delgadas capas de areniscas. Ocasionalmente se encuentran turbas y lentes conglomeráticos con matriz arenosa y cantos de cuarzo, chert negro y rocas ígneas porfiríticas. Se incluye en esta formación las unidades denominadas por Kassem et al. (1967) como Cerrito, San Antonio y Sincelejo inferior.

Se correlaciona con las formaciones Cuesta, de Haffer (1960), Sincelejo y Buena Vista, de Bueno et al. (1970) y parcialmente con las formaciones Sabana y Sincelejo, de Werenfels (1926). Se le considera de una edad Mioceno superior a Plioceno.

3.2.3. GRUPO SINCELEJO

Se designa como Grupo Sincelejo a los sedimentos de carácter continental que suprayacen a la Formación Cerrito, compuestos por areniscas, conglomerados arenosos y shales.

3.2.3.1. *Formación Sincelejo (Tps)*.- Suprayace a la Formación Cerrito y se presenta como una delgada faja de areniscas friables micáceas de grano fino a medio con matriz arcillosa, alternando con areniscas conglomeráticas. Se le asignó edad Plioceno. Se correlaciona parcialmente con la Formación Cuesta, de Haffer (1960).

3.2.3.2. *Formación Morroa (Tpm)*.- Consta de un conjunto de areniscas friables con intercalaciones de conglomerados mal cementados formados por pequeños cantos de cuarzo, lutitas y areniscas y delgadas capas de arcillas. Se caracteriza principalmente por los rápidos cambios de facies. Se le asigna una edad Plioceno - Pleistoceno.

3.2.3.3. *Formación Betulia (Qpb)*.- Sobre la Formación Morroa se encuentra un conjunto de carácter lacustre caracterizado por una serie monótona de arcillas arenosas y arcillas plásticas y gravas, con frecuentes cambios laterales de facies. Su denominación fue dada por Kassem et al. (1967).

3.2.4. SEDIMENTOS ALUVIALES SIN DIFERENCIACION (Qal)

Se presentan en la zona litoral del Golfo de Morrosquillo y en los cauces y paleocauces de los arroyos de la zona. Se compone de arenas, gravas y guijarros con intercalaciones de arcillas. El espesor del aluvión en la zona es hasta de 15 m, con algunas pocas excepciones (arroyo Mancomajan, arroyo Aguas Vivas) con espesores mayores.

3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista estructural la zona se divide en 2 regiones (DUQUE, 1973-1978):

- Región inestable, muy plegada sobre la corteza oceánica.
- Región estable o de plataforma, suavemente ondulada, no plegada sobre la corteza continental.

3.3.1. REGION INESTABLE

En la zona de estudio en esta región se distinguen tres conjuntos:

3.3.1.1. Anticlinorio de San Antonio.- Se encuentra al occidente de la zona litoral del Golfo de Morrosquillo, e incluye el flanco oriental del Anticlinal de San Antero, el Sinclinal del Aserradero y otras estructuras menores.

3.3.1.2. Sinclinorio de San Onofre.- Limitado al oriente por el Anticlinorio de San Jacinto, mientras que su límite occidental está dado por el Anticlinorio de San Antonio. Topográficamente se presenta como una zona plana siendo su parte más baja la situada en el Golfo de Morrosquillo. Comprende el Sinclinal de Toluviéjo y estructuras anexas.

3.3.1.3. Anticlinorio de San Jacinto.- Es el rasgo estructural más importante del área de estudio y constituye la zona montañosa. Abarca numerosas estructuras con anticlinales estrechos. El anticlinorio empieza a manifestarse como tal al norte de la carretera entre San Andrés y Loricá con una dirección NNE-S-SW y su culminación se considera en el cerro de Maco donde empieza a perder altura hasta desaparecer en el Canal del Dique al oeste de Calamar. Dentro de las estructuras más importantes del sistema San Jacinto, se encuentran el Anticlinal de Toluviéjo, los anticlinales de Sahagún, Corozal, Cerro de Pita y Loma del Viento.

3.3.2. REGION ESTABLE

Se encuentra al oriente de la Serranía de San Jacinto y no presenta rasgos tectónicos de importancia apreciable en superficie.

4. LA INVESTIGACION GEOELECTRICA

Con base en la información geológica se diferenciaron, según las características litológicas, las formaciones que podrían ser consideradas un buen prospecto para la explotación de aguas subterráneas, de aquellas que no lo serían. Sin embargo para determinar las profundidades de las formaciones potencialmente acuíferas y cubiertas por sedimentos más recientes, la calidad del agua que contienen, y los cambios de facies de arenosos a arcillosos y viceversa, de los sedimentos recientes de origen fluvio-lacustre, se utilizó el método geoelectrico, que permite correlacionar la resistividad de una roca y el agua que contiene, con características como porosidad, calidad química del agua intersticial, granulometría y litología.

Para la aplicación del método se uso una disposición tipo Schlumberger con distancias promedias de:

$$1000 \text{ m} \left(\frac{AB}{2} = 500 \text{ m} \right)$$

entre electrodos de corriente, usando equipos de corriente continua fabricados por TNO de Holanda.

Una vez realizada la interpretación preliminar de los SEV (sondeos eléctricos verticales) se perforaron los pozos de estudio, deduciendo de sus registros físicos el modelo geoelectrico el cual se aplicó a los SEV ajustándolos, usando para ello un computador.

En general se estima que los valores de resistividad para capas geoelectricas interpretadas a partir de las curvas de Ics SEV, se pueden correlacionar, para el área de estudio, como se indica en la Tabla 1.

Las aguas en general tienen un alto contenido de sólidos disueltos, especialmente bicarbonatos y cloruros, siendo comunes los valores de resistividad para aguas que se consideran "dulces", entre 12 ohm-m (83 m S/m) y 30 ohm-m (33 m S/m) como el caso

TAB. 1: Correlación entre valores de Resistividad y la Litología.

VALOR DE RESISTIVIDAD Ohm-m	CORRELACION
< 1.5	Sedimentos sin diferenciar con agua salobre o salada.
1.5 - 8	Sedimentos arcillosos saturados.
8 - 30	Sedimentos arcillosos o areno-arcillosos saturados.
10 - 17	Sedimentos arenosos o areno-arcillosos saturados.
14 - 30	Areniscas saturadas.

de aguas provenientes de las formaciones Morroa y Sincelejo; para aguas que se consideran salobres, entre 3 ohm-m (300 m S/m) y 10 ohm-m (100 m S/m) como el caso de aguas provenientes de las formaciones San Cayetano Superior y de algunos aljibes construidos en los sedimentos aluviales del área litoral del Golfo de Morrosquillo. Valores menores de 3 ohm-m indican agua salada.

La investigación geoelectrica (Plancha 2) se desarrolló principalmente en los flancos occidental y oriental de la Serranía de San Jacinto, en las zonas que en el Capítulo 2 (Geomorfología) se denominaron:

Zona Litoral - Golfo de Morrosquillo.

Zona de Colinas - La Ye, Sampués, Corozal, Ovejas.

Zona de Llanuras - Betulia, San Pedro, Buenavista, Since.

TIPO I

Resistividad Ohm-m	Espesor m	Correlación
> 1.5	< 15	Sedimentos no diferenciados con agua salobre o salada.
3 a 6		Sedimentos arcillosos o areno-arcillosos. No diferenciados.

Corresponde a SEV efectuados en zonas de playa. Como ejemplo se presenta el SEV 44 I B-21 (Fig. 6).

4.1. ZONA LITORAL DEL GOLFO DE MORROSQUILLO

Corresponde a la zona de la llanura aluvial que se encuentra desde la orilla del mar hasta la estribaciones de la Serranía de San Jacinto en la Serranía de Tolúviejo al occidente del área de estudio. Tiene un área aproximada de 300 km² en la cual se efectuaron 255 SEV en las zonas a las cuales hubo acceso con los equipos, no siendo posible efectuar SEV en algunos bajos inundables como los de la ciénaga de Trementino y los de La Culebra.

De acuerdo con la interpretación preliminar y los requerimientos de la investigación geoelectrica, se ubicaron y perforaron 6 pozos de estudio, cuyos registros físicos fueron la base de los modelos geoelectricos y que en conjunto con la geología del área, sirvieron para elaborar el modelo geoelectrico generalizado del litoral del Golfo de Morrosquillo, del cual se deducen cinco tipos básicos de curvas geoelectricas (Fig. 6), que se describen a continuación:

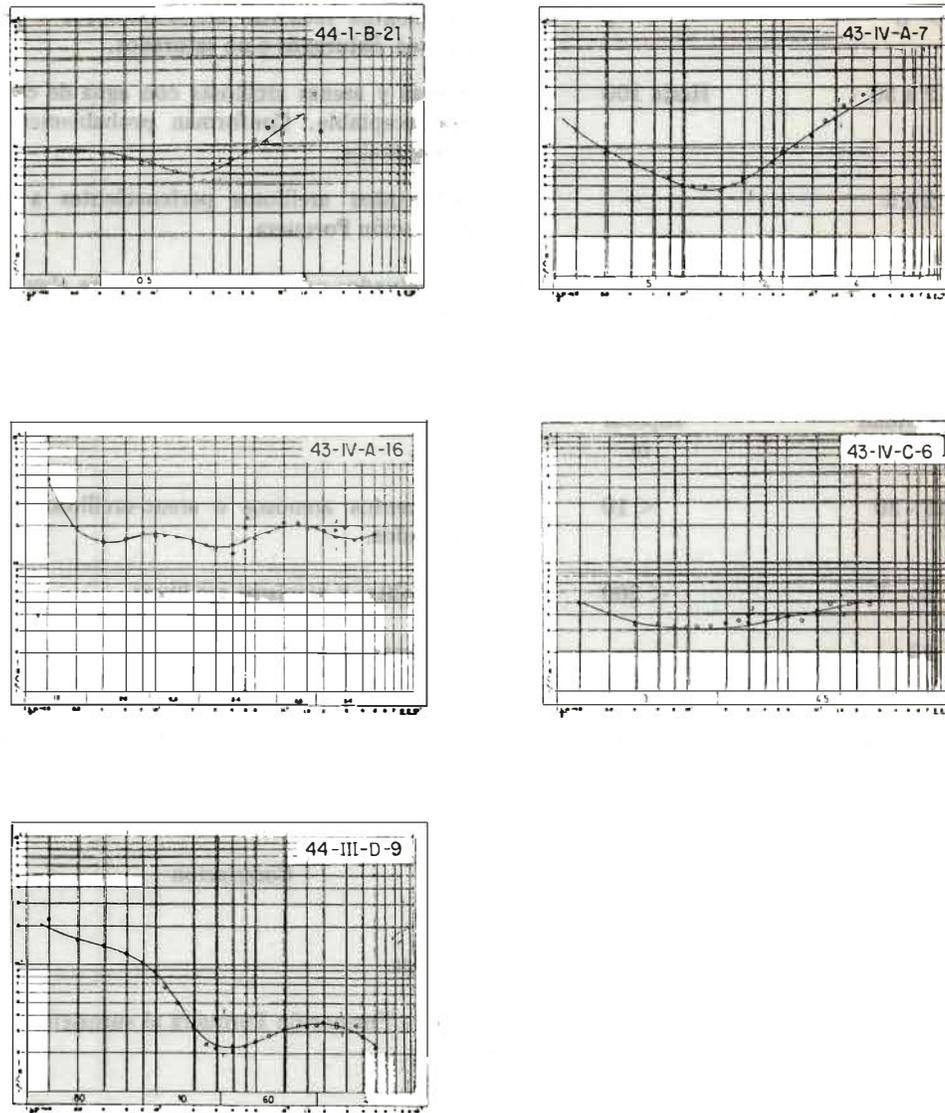


FIG. 6: Tipos básicos de curvas geoelectricas para la zona litoral del Golfo de Morrosquillo.

TIPO II

Resistividad Ohm-m	Espesor m	Correlación
> 8	< 5	Sedimentos recientes areno-arcillosos y arcillosos. Saturados o no saturados.
12 a 30	Hasta 100	Arenas y arenas arcillosas con agua de calidad aceptable. Conforman probablemente paleocanales.
2 a 5		Sedimentos arcillosos pertenecientes a la Formación Porquera.

Corresponde a la mayor parte de los SEV efectuados en el área de la llanura aluvial. Como ejemplo se presenta el SEV 43 IV A-7 (Fig. 6).

TIPO III

Resistividad Ohm-m	Espesor m	Correlación
15 - 30	< 10	Sedimentos arenosos o areno-arcillosos no saturados.
3 - 7	< 200	Arcillolitas y areniscas arcillosas.
30		Areniscas saturadas con agua de buena calidad.

Corresponde al SEV efectuados sobre las formaciones San Cayetano Superior y Ciéna-ga de Oro cerca a Coveñas. Como ejemplo se presenta el SEV 43 IV A-16 (Fig. 6).

TIPO IV

Resistividad Ohm-m	Espesor m	Correlación
2 - 5		Arcillas

Corresponde a los sondeos efectuados sobre la Formación Porquera al suroriente de Coveñas. Como ejemplo el SEV 43 IV C-6 (Fig. 6).

TIPO V

Resistividad Ohm-m	Espesor m	Correlación
2 - 10	Hasta 50	Sedimentos sin diferenciar.
40 - 60	Hasta 120	Calizas saturadas.
2 - 5		Arcillas

Corresponde a los sondeos efectuados en cercanías de los afloramientos de la Formación San Jacinto. Como ejemplo el SEV 44 III D-9 (Fig. 6).

En esta zona los 6 pozos de estudio perforados se ubicaron así:

Localidad	No.	Profundidad (m)
Coveñas	1	80
Coveñas	2	150
Puerto Viejo	1	100
Berrugas	1	73
San Onofre	1	72
San Onofre	2	80

Con base en los registros físicos y su correlación con la litología se hizo la interpretación definitiva de los SEV en el área del Golfo de Morrosquillo, cuyos resultados se presenta en el mapa (Fig. 7) y los cortes (Figs. 8 y 9).

4.1.1. MAPA DE PROFUNDIDAD DEL TECHO DE LA BASE IMPERMEABLE

Teniendo en cuenta que en la mayoría de los sondeos de la zona se presenta un basamento geoelectrico de baja resistividad (2 a 5 ohm-m), éste se correlaciona con bancos arcillosos potentes de las formaciones Porquera y San Cayetano Superior, suprayacidos por sedimentos arenosos y areno-arcillosos recientes que conformarían canales y representan el acuífero potencial importante en la zona (Fig. 7).

Este mapa sirve igualmente para deducir la paleotopografía originada por las rocas terciarias en la zona, mostrando un alto estructural a la altura de Tolú que cruza de oriente a occidente el área aluvial del litoral del Golfo de Morrosquillo, dividiéndolo en dos partes bajas, una al norte con sedimentos conformados por arenas finas, arenas gruesas arcillosas e intercalaciones de arcilla, con espesores de 60 m y ocasionalmente hasta de 100 m, y otra al sur en el cual los sedimentos superficiales (hasta 80 m) son más arcillosos con intercalaciones de gravilla fina. En profundidad es de esperar sedimen-

tos arenosos con intercalaciones de arcillas y espesores de 40 m (BURGL et al, 1954). También se indican en el mapa las profundidades probables de pozos para explotación de aguas subterráneas, basadas en los valores de resistividad y en los espesores de las capas deducidas en la interpretación de las curvas SEV.

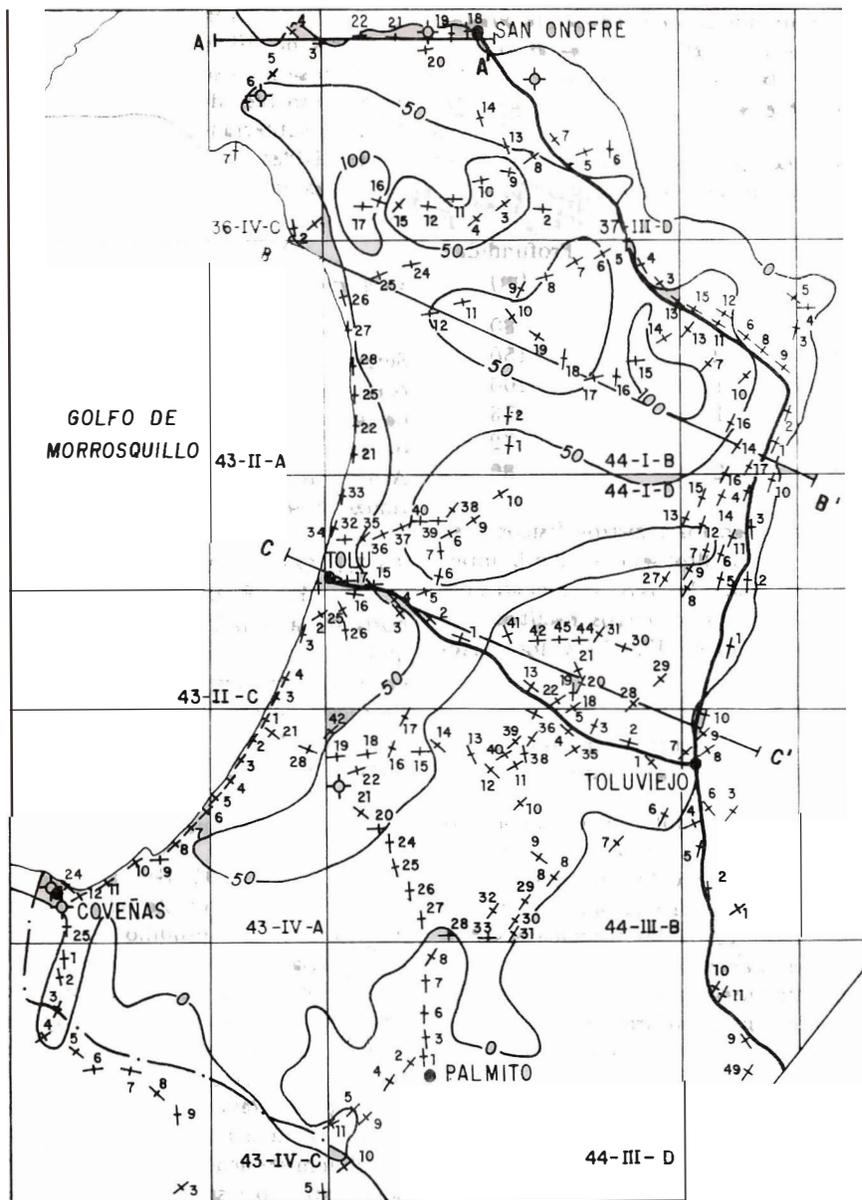
4.1.2. CORTES GEOELECTRICOS

En el área del flanco occidental de la Serranía de San Jacinto se elaboraron cuatro cortes geoelectricos, uno en dirección este-oeste y los tres restantes con dirección noroeste - sureste, identificados con las letras A-A', B-B', C-C' y D-D' (Plancha 2). A continuación se describe cada uno de ellos:

4.1.2.1. *Corte A-A'*.- Corresponde a un corte (Fig. 8) de rumbo este-oeste, en el norte de la zona litoral del Golfo de Morrosquillo. Se proyectó sobre el plano de corte el pozo perforado en la localidad de Berrugas. Se presentan dos zonas potencialmente acuíferas compuestas por arenas arcillosas con resistividades de 12 a 17 ohm-m en los SEV. 36 IV C-4 y 37 III D-22 y 21, con espesores promedio de 30 m (Anexo 1).

4.1.2.2. *Corte B-B'*.- Se trazó con dirección noroeste-sureste al norte del área del Golfo de Morrosquillo (Fig. 9). Presenta como basamento geoelectrico las arcillolitas de la Formación Porquera con resistividad entre 2 y 4 ohm-m, suprayacidas por sedimentos arenosos recientes de espesor variable. Se observa introducción de agua salada en la zona de playa. Las arenas posiblemente acuíferas, tienen una resistividad entre 10 y 33 ohm-m de acuerdo con su litología y posiblemente correspondan a depósitos de canal que parecen presentarse en la zona, demarcadas por la paleotopografía de las formaciones terciarias.

Entre el SEV 44 I B-18 y el 44 I B-17 (Fig. 9) se plantea una discontinuidad que podría ser el contacto (fosilizado) entre las formaciones Porquera y San Cayetano Superior. La capa de areniscas de la Formación San Cayetano Superior en el oriente, presenta resistividades del orden de 17 ohm-m.



CONVENCIONES

45x Número del SEV

~50~ Profundidad del techo de la base impermeable

A—A' Corte Geoeléctrico

FIG. 7: Mapa de profundidad del techo de la base impermeable.

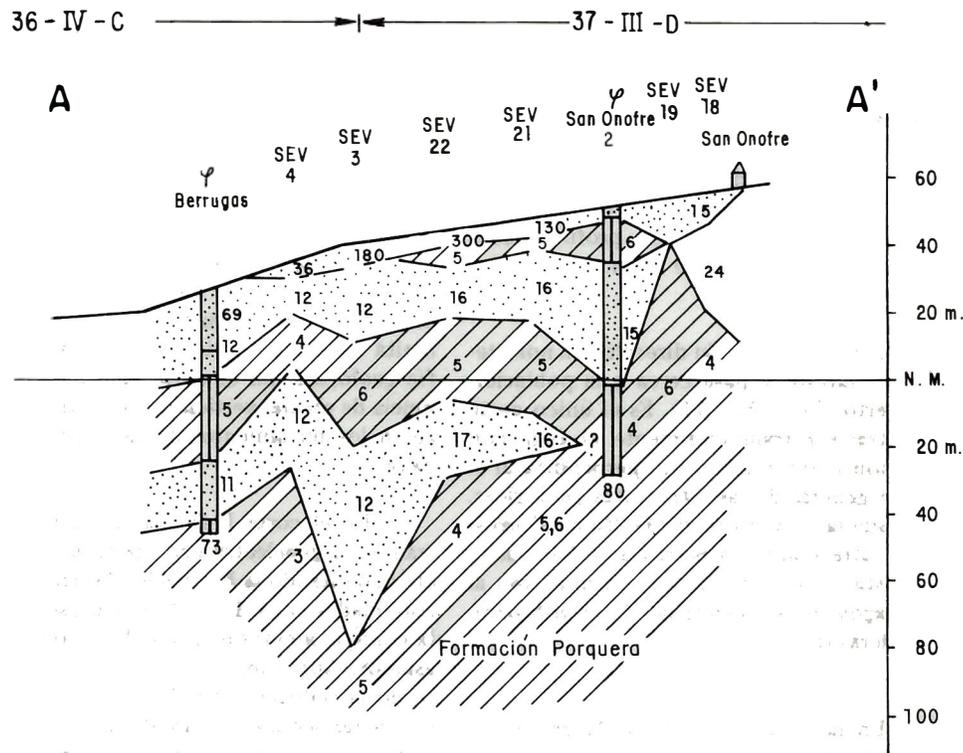


FIG. 8: Corte Geoelectrico A-A' Zona Litoral.

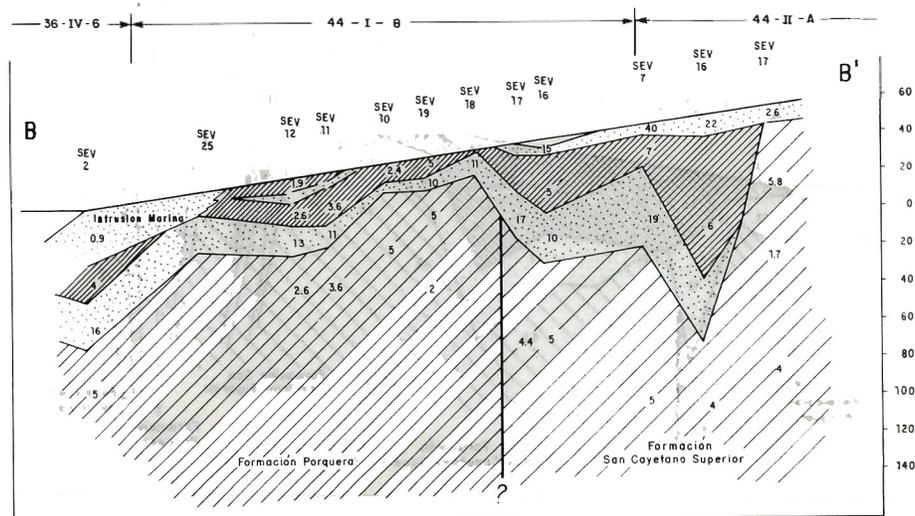


FIG. 9: Corte Geoelectrico B-B' Zona Litoral

4.1.2.3. *Corte C-C'*. - Se encuentra aproximadamente paralelo y al sur del corte B-B' a la altura de la población de Tolú (Fig. 10). El basamento geoelectrico corresponde a rocas arcillosas de la Formación Porquera y a rocas no diferenciadas con agua de regular calidad química de la Formación San Cayetano Superior. Presenta algunos depósitos de arenas con resistividades entre 12 y 20 ohm-m que se consideran como los acuíferos potenciales en la zona, con profundidades hasta su base del orden de 65 m.

4.1.2.4. *Corte D-D'*. - Su dirección es noreste-sureste y pasa cerca a la población de Puerto Viejo (Fig. 11). Es el único corte que atraviesa transversalmente el área, con dirección aproximadamente perpendicular al rumbo general de las estructuras geológicas. Va desde la zona litoral del Golfo de Morrosquillo, atravesando la Serranía de San Jacinto, hasta la zona de llanuras en dirección al río Magdalena en cercanías de la población de Galeras (Sucre).

En la zona del Golfo de Morrosquillo el basamento geoelectrico, como en los an-

teriores cortes, está constituido por sedimentos pertenecientes a las formaciones Porquera y San Cayetano Superior, los cuales no presentan buenas perspectivas como acuíferos. Los acuíferos potenciales los constituyen los sedimentos arenosos que suprayacen al basamento geoelectrico con un espesor del orden de 60 m (un máximo 120 m?) y resistividades que varían entre 11 y 19 ohm-m (30 ohm-m?).

Cuando el corte entra a la zona de la Serranía de San Jacinto la geoelectrica pierde su importancia y la interpretación se limita a ceñirse estrictamente a la cartografía geológica. En el corte, debido a la diferencia de escalas vertical y horizontal, se exageran los buzamientos de las diferentes unidades.

En el corte D-D' hacia la zona de serranías, la geoelectrica recupera su importancia delimitando la Formación Morroa con resistividades entre 11 y 20 ohm-m, señalándola como el mejor prospecto de la zona por su espesor. Aproximadamente 5 km al occidente de la población de Betulia se empieza a encontrar sedimentos arcillosos con resistividades entre 3 y 6 ohm-m con intercalaciones

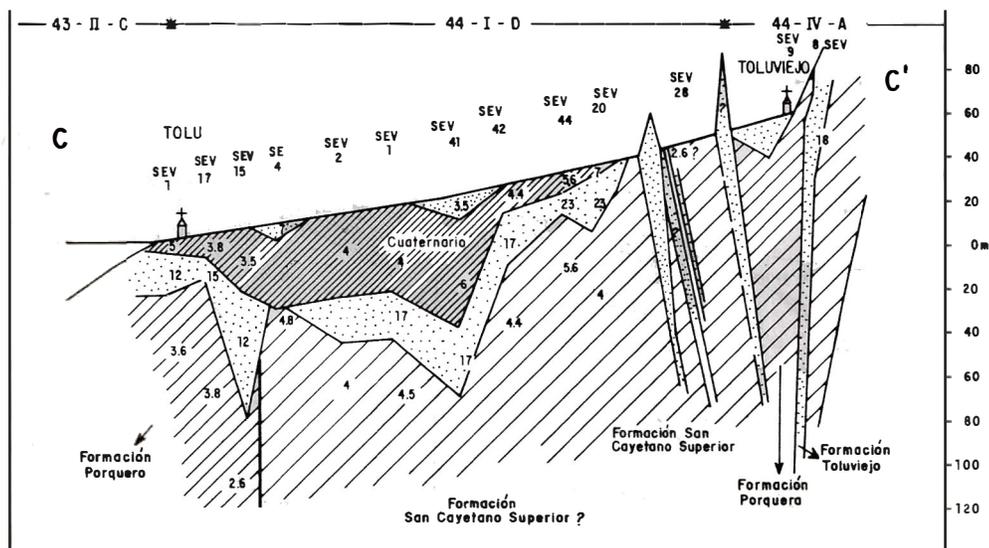


FIG. 10: Corte Geoelectrico C-C' Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo - Flanco W de la Serranía de San Jacinto.

de niveles arenosos con resistividades del orden de 20 ohm-m que se presentan como prospectos de acuíferos pertenecientes a la Formación Betulia. Se detectan en profundidades de hasta 250 m de algunas intercalaciones arenosas.

En los sondeos 53 I A-35, 33 y 48 (Fig. 11 y Anexo 1) se presenta una capa de alta resistividad (entre 12 y 21 ohm-m) que se podría correlacionar con areniscas pertenecientes a la Formación Morroa? y que se presenta como un acuífero potencial.

4.2. FLANCO NORORIENTAL DE LA SERRANIA DE SAN JACINTO

Corresponde a las llanuras aluviales entre la Serranía de San Jacinto y los márgenes de los ríos San Jorge y Magdalena hasta la coordenada Y: 950.000. Al sur está limitada por la línea Ciénaga de Oro - La Ye y al norte por la línea Ovejas - San Pedro.

Allí se ejecutaron 1058 SEV con el objeto de:

Determinar e identificar niveles arcillosos dentro de las formaciones Cerrito, Sincelejo y Morroa, discriminándolos de los niveles de areniscas.

Determinar niveles arenosos y cambios laterales de facies en los sedimentos de la Formación Betulia.

Determinar zonas potencialmente acuíferas en los sedimentos de la Formación Betulia y las profundidades estimadas a las que se deben efectuar perforaciones para explotación de agua subterránea.

De acuerdo con la interpretación preliminar y con los requerimientos de la investigación geoelectrónica, se ubicaron y perforaron 25 pozos de estudio como se indica en la siguiente lista:

Localidad	No.	Profundidad (m)
Sahagún	1	250
Sahagún	2	200
Chinú	1	120
Chinú	2	192
Chinú	3	165
La Llanadas	1	80
Chapinero	1	145
Sincelejo	1	320
Corozal	1	284
Corozal	2	275
Corozal	3 (26)	300
Corozal	4	300
Betulia	1	100
Betulia	2	160
Sucre	1	250
Since	2	249
San Pedro	1	200
San Pedro	2	250
San Pedro	3	261
San Pedro	4	245
Buenavista	1	181
Rovira	1	68
Rovira	2	133
Galeras	1	60
Galeras	2	100

A los anteriores pozos se les tomaron registros físicos (GAMMA, S.P. y Resistividad) que fueron correlacionados con la litología y sirvieron de base para la interpretación de los SEV del área.

Se determinan básicamente seis tipos de curvas (Fig. 12).

CURVAS TIPO I:

Corresponde a los SEV efectuados sobre los sedimentos de las formaciones Morroa, Sincelejo y Cerrito, sobre la zona de la línea que une de sur a norte La Ye, Sahagún, Chinú, Sampués, Sincelejo y Corozal. Se caracterizan por presentar valores "altos" (relativamente) correspondientes a los niveles de areniscas de las formaciones citadas.

Es de anotar el cambio litológico de facie que se produce en la Formación Morroa entre las localidades de Sampués y Chinú, pasando de areniscas al norte del área a arcillolitas en el sur. Lo anterior se nota al

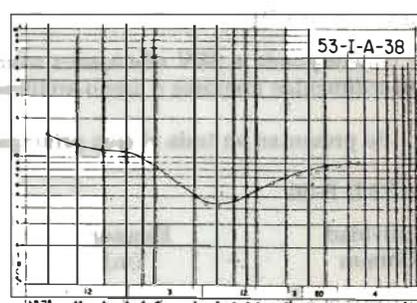
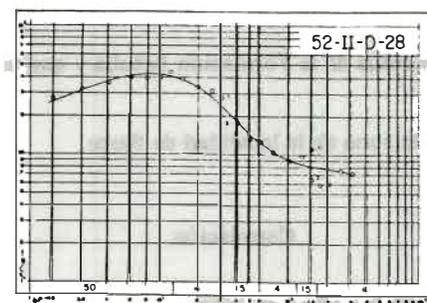
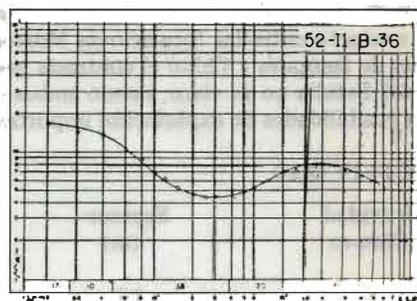
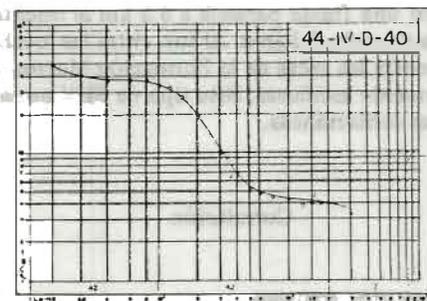
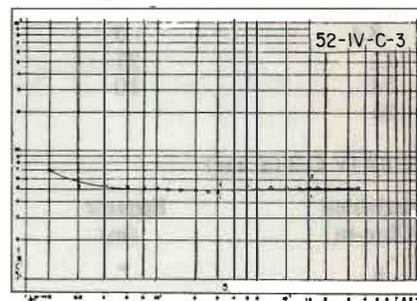
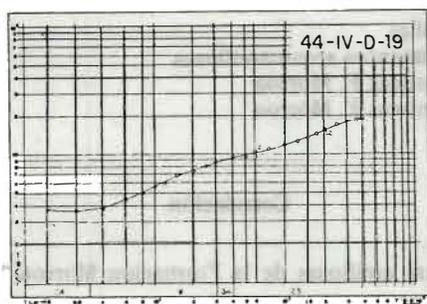


FIG. 12: Tipos básicos de curvas geoelectricas para el área flanco nororiental de la Serranía de San Jacinto.

pasar de valores entre 15 y 25 ohm-m para algunos niveles de areniscas a valores entre 3 y 5 ohm-m en los cuales los niveles arenosos no se presentan.

SEV 44 IV D-19 (al norte)

Resistividad Ohm-m	Espesor (m)	Correlación
3.4	3	Arcillas
11	27	Sedimentos areno-arcillosos
34	10	Areniscas F. Morroa
25		Areniscas F. Morroa

SEV 52 IV C-3 (al sur)

Resistividad Ohm-m	Espesor (m)	Correlación
5		Rocas arcillosas de la Formación Morroa(?)

CURVAS TIPO II

Corresponde a los SEV efectuados en la Formación Betulia, compuesta principalmente por sedimentos arcillosos y en menor grado arenosos de origen fluvio-lacustre, con valores bajos de resistividad. Se presentan principalmente en una franja paralela a 3.5 km al oriente del contacto entre las formaciones Morroa y Betulia al norte del área. Al sur, entre las localidades de Sampedro y Chinú el contraste geoelectrico entre las rocas de la Formación Morroa y las del Betulia no es claro, siendo ambas predominantemente arcillosas. Este tipo de SEV no indica posibilidades de explotación importante de aguas subterráneas.

SEV 44 IV D-40

Resistividad Ohm-m	Espesor (m)	Correlación
42	10	Sedimentos arenosos
4,2	190	Sedimentos arcillosos de la Formación Betulia.
2		

CURVAS TIPO III

Corresponde a SEV efectuados sobre los sedimentos de la Formación Betulia y que indican sedimentos arenosos o areno-arcillosos.

Se presentan en toda el área principalmente en la zona de la localidad de Since.

SEV 52 II B-36

Resistividad Ohm-m	Espesor (m)	Correlación
17	2	Sedimentos areno-arcillosos
10	3	Sedimentos areno-arcillosos
3,8	35	Arcillas, Formación Betulia
20	60	Arenas, Formación Betulia
3,6		Arcillas, Formación Betulia

CURVAS TIPO IV

Corresponde a SEV efectuados sobre la Formación Betulia que indican sedimentos arenosos y areno-arcillosos con espesores hasta de 200 m suprayaciendo a rocas arcillosas de la Formación Morroa.

SEV 52 II D-28

Resistividad Ohm-m	Espesor (m)	Correlación
50	12	Sedimentos arenosos
4	18	Sedimentos arcillosos
15	30	Sedimentos arenosos
4	60	Sedimentos arcillosos
15	45	Sedimentos arenosos
3		Sedimentos arcillosos

CURVAS TIPO V

Corresponde a los SEV efectuados en la Formación Betulia que indican sedimentos arenosos y areno-arcillosos con espesores mayores de 200 m y menores de 350 m, que suprayacen a sedimentos arcillosos de la misma formación.

TIPO VI

Este tipo de sondeos corresponde a aquellos efectuados sobre sedimentos de la Formación Betulia y en donde las curvas geoelectricas terminan en ascenso indicando la presencia del techo de la Formación Morroa. Este tipo de sondeos se encuentra al norte de la zona en una franja aproximadamente 3,5 km de ancho, a partir del contacto entre las formaciones Morroa y Betulia, terminando en la zona que se ha denominado como de cambio de facies de la Formación Morroa, entre las localidades de Sampedro y Chinú, donde la capa guía de areniscas del techo de la Formación Morroa no se detecta.

SEV 44 IV D-36

Resistividad Ohm-m	Espesor (m)	Correlación
4.2	10	Sedimentos no diferenciados de la Formación Betulia.
20	3	
3.2	143	Techo (areniscas) de la Formación Morroa.
15		

4.2.1. MAPA DEL TECHO DE LA FORMACION MORROA

Aún cuando la precisión del contacto entre las formaciones Morroa y Betulia, es punto de discusión entre diversos autores, se consideró que el mapa geológico base propuesto por Kassem et al (1967) con algunas modificaciones de poca importancia en

el mencionado contacto, es válido para los fines que se tienen al proponerlo en el presente mapa (Plancha 3).

En dicho mapa se presenta la Formación Morroa como el acuífero más importante del área y como tal se considera de interés ubicar su techo que corresponde a la zona de contacto con la Formación Betulia.

A la altura de la población de Chinú la capa geoelectrica de alta resistividad no se detecta, atribuyéndose a la no presencia de la Formación Morroa con la litología que la caracteriza en las poblaciones de Corozal y Morroa, bien porque cambia a una facie arcillosa o porque simplemente se pincha contra la Formación Cerrito o por un cambio estructural abrupto.

Como se puede observar en el mapa, el techo de la Formación Morroa se profundiza de occidente a oriente y se encuentra entre 0 - 100 m, 100 - 200 m y 200 - 400 m, profundidades que podrían ser razonables para explotación de aguas subterráneas por medio de pozos.

Con signos de interrogación se presentan las zonas en las que la Formación Morroa no se presenta como areniscas y se considera incierta cualquier interpretación.

Al sur en el área de Sahagún, parece no estar presente la Formación Morroa (areniscas) y el acuífero estaría constituido por las rocas correspondientes a la Formación Cerrito, como lo indican los sondeos ubicados al oeste de la carretera La Ye - Sahagún donde en general no se detectan basamentos arcillosos sino a profundidades entre 200 y 300 m. Esta zona se indica en el mapa con un achuramiento.

4.2.2. MAPA DEL ACUIFERO POTENCIAL DE LA FORMACION BETULIA

El ambiente de depositación fluvio-deltaico de la Formación Betulia hace que los acuíferos que en ella se encuentran no sean continuos en la horizontal y más bien se presentan como lentes de mayor o menor extensión, decidiéndose por lo tanto buscar una capa guía (Geoelectrica) arcillosa de baja resistividad y de gran espesor. Es así como se presenta un mapa (Plancha 4) en el cual se indican las profundidades máximas de perforación para explotación de aguas subterráneas de los acuíferos que se encuentran dentro de esta formación. Una vez se encuentre la capa guía de arcillas no vale la pena continuar con la perforación, pues la

posibilidad de encontrar acuíferos en esa zona es poca o nula.

En el mapa se indican las diferentes zonas donde la capa base de arcilla se encuentra en un rango de profundidades de 0 a 50 m, 50 a 100, 100 a 200 y de 200 a 300, aumentando la profundidad de la capa base arcillosa en el sentido occidente-oriente.

5. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Uno de los objetivos en la investigación hidrogeológica es determinar y cuantificar en lo posible la capacidad de las formaciones geológicas para transmitir y almacenar agua.

Se da en la Tabla 2 una caracterización cualitativa de las formaciones presentes en el área de estudio, que almacenan y transmiten agua (acuíferos) y las formaciones que pueden o no almacenar agua pero que la transmiten muy lentamente o no la transmiten (acuitardo y acuícludos), basados únicamente en su litología. En este capítulo se cuantifican algunos parámetros de los acuíferos como transmisividad y coeficiente de almacenamiento, hallados mediante pruebas de bombeo en pozos perforados en las diferentes formaciones geológicas y se presentan los datos de algunas características físico-químicas de muestras de agua tomadas de pozos.

5.1. INVENTARIO

Aun cuando no se hizo un inventario sistemático de puntos de agua (pozos, aljibes y manantiales) se recopiló información de pozos existentes en la zona de estudio.

5.1.1. ZONA LITORAL DEL GOLFO DE MORROSQUILLO

Tolú: Se inventariaron cinco pozos con niveles estáticos entre 0.2 y 2.80 m, caudal de explotación hasta de 14 lps y capacidades específicas del orden 1 lps/m. Captan los sedimentos recientes en el litoral del Golfo de Morrosquillo.

TAB. 2: Características Hidrogeológicas de las formaciones geológicas del área Serranía de San Jacinto y Golfo de Morrosquillo.

FORMACION	EDAD	ESPESOR (m)	COMPOSICION LITOLÓGICA	AMBIENTE DE DEPOSITACION	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS
SAN CAYETANO INFERIOR	Cretáceo Superior	150?	Areniscas arcillosas, lutitas, con concreciones calcáreas. Hacia la base conglomerados.	Marino profundo turbidítico	Acuífero pobre acuitardo
SAN CAYETANO SUPERIOR	Paleoceno -Eoceno	150 a 600	Areniscas con matriz arcillosa calcárea. Hacia el techo conglomerados.	Marino turbidítico	Acuitardo - Acuífero pobre
SAN JACINTO	Eoceno Medio-Oligoceno Inferior	200 a 350	Calizas, margas, arenisca, lutitas, y arcillolitas, localmente carbón.	Marino epicontinental. Prof. 200 m.	Acuitardo - Acuífero pobre
CIENAGA DE ORO	Eoceno Superior-Oligoceno -Mioceno Inferior	200	Areniscas y Areniscas conglomeráticas con intercalaciones de lutitas.	Marino somero	Acuífero pobre
PORQUERA	Oligoceno Medio Mioceno Inferior	≈ 600	Arcillolitas y limolitas a veces calcáreas.	Marino > 600 m	Acuicludo
CERRITO	Mioceno Superior Plioceno	450 a 900	Areniscas friables calcáreas, conglomerados y limolitas.	Marino somero transicional	Acuífero regular a bueno
SINCELEJO	Plioceno	150	Areniscas arcillosas y areniscas conglomeráticas.	Transicional	Acuífero regular a bueno
MORROA	Plioceno	500 a 800	Areniscas friables, areniscas conglomeráticas.	Continental fluvial	Acuífero bueno
BETULIA	Pleistoceno	Hasta 1500	Arcillas, arenas y gravas.	Continental Fluvio-lacustre	Acuitardo, ocasionalmente acuífero pobre a bueno.

5.1.2. FLANCO NORORIENTAL DE LA
SERRANIA DE SAN JACINTO

5.1.2.1. *Sahagún*.- El nivel estático se encuentra en promedio a 23 m de profundidad y la producción de los pozos construidos a profundidades entre 52 m y 137 m, varía entre 3 y 7.5 lps. Las capacidades específicas para este orden de caudales de explotación oscilan entre 0.1 y 0.7 lps/m.

5.1.2.2. *Chinú*.- El nivel estático varía desde superficial hasta 16 m en los pozos del área. Sus profundidades se encuentran entre 50 y 100 m y la producción oscila entre 1.7 y 7 lps. Las capacidades específicas para estos caudales varían entre 0.15 y 0.34 lps/m.

5.1.2.3. *San Andrés de Sotavento*.- Los pozos perforados en la Formación Cerrito son de baja producción (0.5 lps) y se extrae agua de mala calidad química para el consumo humano.

5.1.2.4. *Sampués*.- Los pozos perforados hasta 60 m en esta zona captan acuíferos de la Formación Morroa y se explotan con caudales del orden de 7 lps. El nivel estático en la zona es del orden de 2.50 m. Se determinaron transmisividades entre 23 y 180 m²/día.

5.1.2.5. *Corozal*.- Se inventariaron 23 pozos en la zona de este municipio, los cuales captan acuíferos de la Formación Morroa a excepción de 5 pozos ubicados al suroriente del municipio, que captan agua de las rocas y sedimentos de las formaciones Morroa y Betulia. Las producciones varían entre 8 y 50 lps y las profundidades entre 90 y 120 m.

5.1.2.6. *Sucre*.- El nivel estático se encuentra en esta zona a una profundidad del orden de los 43 m. Los pozos son de baja producción con capacidades específicas que varían de 0.4 a 0.13 lps/m. Estos pozos captan agua de la Formación Betulia.

5.1.2.7. *Los Palmitos*.- Se inventarió un pozo de 96 m. El nivel estático se encuentra a 25 m y produce 3.7 lps con un nivel de bombeo de 31 m.

5.1.2.8. *Ovejas*.- Se inventariaron pozos que captan acuíferos en la Formación Morroa, con profundidades entre 12 y 400 m y capacidades específicas entre 0.5 y 1.2 lps/m, y pozos en la Formación Sincelejo (al noreste de la población) con profundidades del orden de 70 m y niveles estáticos desde superficiales hasta 10 m. Se reporta bajo rendimiento de estos pozos.

5.2. HIDROQUÍMICA

La calidad físico-química de las aguas subterráneas es el resultado de factores como composición físico-química del agua en el momento de infiltrarse, bien que provenga de agua lluvia o de aguas superficiales; tipo de ambiente de depositación de las rocas que las almacenan, tiempo de contacto del agua con las diferentes rocas que atraviesa durante su recorrido, y el tiempo en el cual el agua no ha hecho parte activa del ciclo hidrogeológico.

Aunque no se hizo un muestreo sistemático, o si se hizo no se reporta, y teniendo en cuenta que en el área de estudio existen formaciones terciarias de ambientes marinos transicionales y continentales, la clasificación geohidroquímica debe ser bien definida e identificable para cada grupo y para las formaciones entre sí.

Es de esperar que para las rocas terciarias de origen marino, dado que su litología indica que las condiciones son de baja permeabilidad, el agua lluvia que las recargaría "lava" o lixivia muy lentamente los sólidos presentes en estos sedimentos, dan como resultado agua de muy mala calidad, con un alto contenido de sólidos disueltos totales, dura, con valores altos de bicarbonatos y sales.

En las formaciones terciarias de origen transicional y continental, que presentan características litológicas con granulometría cuarzosa mejoran las condiciones de permeabilidad, el proceso de "lavado" es más rápido y por tanto el agua que contienen será más "dulce" que los acuíferos de origen marino, un poco duras y con concentraciones moderadas de otros iones en solución.

La calidad química del agua en las formaciones recientes como la Formación Betulia, de origen continental fluvio-lacustre y los rellenos aluviales del Golfo de Morrosquillo, depende principalmente de problemas de intrusión marina en la zona litoral y en otras zonas, por las variaciones estacionales de períodos secos y períodos húmedos, donde los procesos de evaporación concentran gran cantidad de sólidos, que son lixiviados e infiltrados por pequeñas lluvias esporádicas y por lo tanto el agua proveniente de estos acuíferos será poco dulce.

De acuerdo con similitudes generales con el área de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique, se pueden proponer para el área de la Serranía de San Jacinto los valores indicados por Huguet et al (1985) que relacionan la conductividad del agua subterránea con su calidad química.

< 100 m S/m	Dulce
100 - 300 m S/m	Salobre
> 300 m S/m	Salada

5.3. MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

En el recorrido durante el ciclo hidrológico, el agua pasa por diferentes situaciones de presión y temperatura, además de ponerse en contacto con diversidad de materiales, que hacen que la composición y concentración de los elementos químicos que la constituyen sufran variaciones. Estos procesos se pueden medir y correlacionar para deducir su trayectoria y origen.

En términos generales se usan radio-trazadores para la datación y trazadores estables para la génesis del agua de los acuíferos. En los primeros se mide la actividad o concentración del trazador y en los segundos se determina la relación entre la concentración de dos de ellos.

En la zona de estudio se hizo un muestreo en pozos situados en las localidades de

Corozal, Chirú, Ovejas, Canutalito y San Mateo, con el objeto de efectuar datación por carbono 14 (C-14) y análisis de oxígeno 18 y Deuterio, con el fin de hallar la correlación entre el agua de precipitación y el agua de los acuíferos, por la relación entre la desviación en tanto por mil con respecto a los valores estandarizados para el agua de mar (SMOW) de los componentes de Deuterio (H_2 o D) y oxígeno 18 (O-18). Esto permite deducir la alta altitud de origen de las aguas lluvias y si han sido sometidas a procesos de evaporación antes de ser infiltradas en el subsuelo.

La datación del agua subterránea de los pozos de Corozal dio como resultado edades que varían desde menores de 500 años (El método en estos tiempos es incierto) hasta 6.900 años. Las aguas "nuevas" se interpretan como provenientes de pozos cercanos a la zona de recarga con altos flujos de agua debidos al bombeo intensivo y las "más antiguas" como provenientes de acuíferos sometidos a un bombeo menor o cuya explotación apenas comienza.

En general esta misma interpretación se aplica a los pozos de Chirú y Ovejas, que en todos los casos dieron aguas más jóvenes que la de los pozos de Corozal.

En cuanto a los análisis de isótopos estables, se establecieron los resultados de 25 muestras que incluyen 4 muestras de precipitación en el área de Corozal. Estos resultados se presentan en la Figura 13 donde se correlaciona el Deuterio con el Oxígeno 18.

Del análisis de este gráfico se puede concluir que en el área de Ovejas la infiltración es más rápida, ya que sus valores están cerca de la línea de precipitación local, mientras que para los pozos de Corozal y Chirú, están más cerca de una línea hipotética de evaporación, lo que indica que su infiltración es más lenta bien por las características de pendiente de la zona de recarga, por la vegetación que la cubre o por las características litológicas de la roca que serían menos favorables en este sector. Ampliación a este capí-

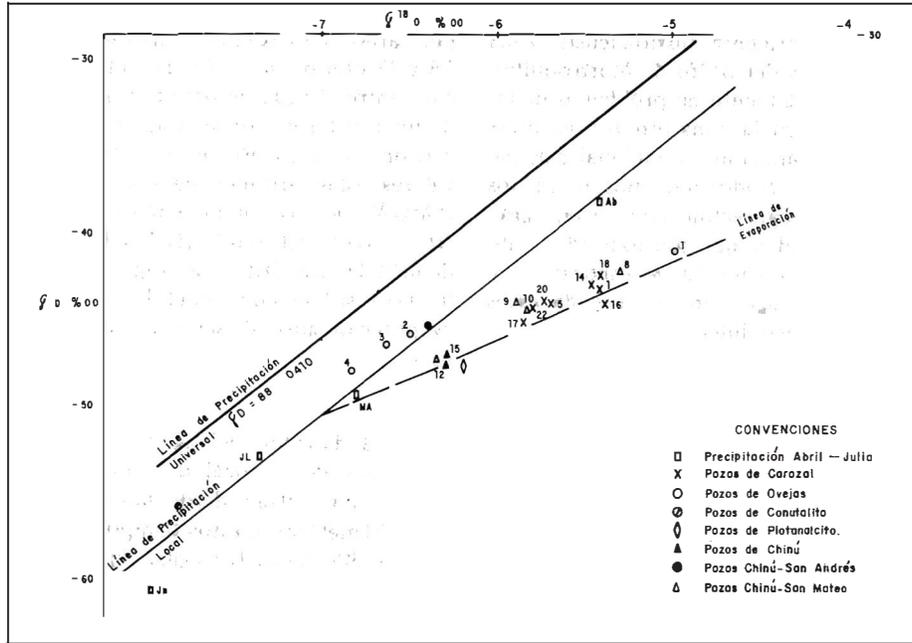


FIG. 13: Correlación Deuterio - Oxígeno 18.

tulo se puede encontrar en el informe presentado por Rodríguez et al. (1977).

5.4. PERFORACIONES Y CONSTRUCCION DE POZOS

Con base en los requerimientos y los resultados de los estudios geofísicos y geológicos, se eligieron sitios para perforaciones de estudio y para pozos de producción (Tabla 3). Se ejecutaron 31 perforaciones de estudio para un total de 5.443 m, y 12 pozos de producción para un total de 1.088 m perforados y construidos.

Las perforaciones fueron ejecutadas por los contratistas Indupozos, Iriplane e Incasa Ltda. con equipos de rotación y circulación directa con lodo.

En los pozos de producción se ejecutaron pruebas de bombeo. En la Tabla 4 se resumen las características de construcción y los parámetros hidráulicos de las pruebas.

6. CONCLUSIONES

En el área de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo, el acuífero potencial está constituido por los sedimentos arenosos y areno-arcillosos recientes, que conforma-

rían canales y suprayacen a potentes bancos arcillosos de las formaciones Porquera y San Cayetano Superior. Estos sedimentos presentan resistividades entre 10 y 20 ohm-m y su espesor varía de 30 a 65 m.

En el área del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto, el mejor prospecto acuífero lo constituye la Formación Morroa con resistividades entre 11 y 20 ohm-m. El techo de esta formación se profundiza de occidente a oriente desde 0 hasta 400 m, profundidades que podrían ser razonables para la explotación de aguas subterráneas por medio de pozos.

El ambiente de depositación fluvio-deltaico de la Formación Betulia, hace que los acuíferos que en ella se encuentran no sean continuos en la horizontal. Aproximadamente 5 km al occidente de la población de Betulia, empiezan a aparecer dentro de esta formación unas intercalaciones arenosas que presentan resistividades de 20 ohm-m considerándose potencialmente acuíferas. La profundidad de perforación del acuífero está dado por una capa guía de arcillolita de baja resistividad y gran espesor cuyo rango de profundidad aumenta de occidente a oriente desde 0 hasta 300 m.

TAB. 3: Perforaciones de estudio.

POZO	LOCALIDAD	PROF. (m)	Ø	FORMACION	CARACTERISTICA	OBSERVACION
SI-CO-SG-1	Sahagún	250		Cerrito		SEV 52 III D-20
SI-CO-SG-2	Sahagún	200	6''	Cerrito	Areniscas de grano medio a grueso	SEV 52 III D-36
SI-CO-CH-1	Chinú	120	8''	Morroa?? Betulia ??	Arcilla Arcilla arenosa	SEV 52 IV A-15
SI-CO-CH-2	Chinú	192	8''	Betulia	Arcilla	SEV 52 II C-52
SI-SU-LL-1	Las Llanadas	80	8''	Betulia	Arcilla	SEV 52 II D-13
SI-SU-CH-1	Chapinero	145	8''	Betulia	Arcillas Int.	SEV 52 II B-58
SI-SU-SJ-1	Sincelejo	320	8''	Morroa Sincelejo Cerrito	Arcillas Areniscas	SEV 44 IV C-67 Agua salobre?
SJ-SV-CV-1	Coveñas	80	8''	San Cayetano Superior	Areniscas Arcilla arenosa	SEV 43 IV A-14 No saturadas?
SJ-SU-CV-2	Coveñas	150	8''	San Cayetano Superior	Areniscas	SEV 43 IV A-16 No saturadas?
SJ-SU-PV-1	Pto. Viejo	100	8''	Cuaternario Porquera? (S)	Arenas - gravas In. arcillas	SEV 44 III B-23
SJ-SU-BR-1	Berrugas	73	8''	Cuaternario Porquera?(S)	Arenas - gravas In. arcillas	SEV 36 IV C-6
SJ-SU-SO-1	San Onofre	72	8''	Cuaternario (30 m) Porquera? (Sup.)	Arena - gravas (30 m Sup.) Arcillas	SEV 37 III D-24
SJ-SU-SO-2	San Onofre	80	8''	Cuaternario (50 m) Porquera	Arena Med. (50 m) (Sup) Arcillas	SEV 37 III D-20
SJ-SU-CO-1	Corozal	284	8''	Betulia (60 m) Morroa (Sup)	Arcillas Areniscas	SEV 44 IV D-25
SJ-SU-CO-2	Corozal	275	8''	Morroa (Med.)	Areniscas	SEV 44 IV D-5
SJ-SU-CO-26	Corozal	300	8''	Morroa (Med.)	Areniscas Intercalaciones de arcillas	SEV 44 IV C-75
SJ-SU-CO-4	Corozal	300	8''	Morroa (Inf.)	Areniscas arcillosas	SEV 44 IV C-81
SJ-SU-BE-1	Betulia	100	8''	Betulia	Arcillas	SEV 52 II B-45
SJ-SU-BE-2	Betulia	160	8''	Betulia	Arenas arcillosas (75 m) Arcilla	SEV 52 II B-48
SJ-SU-SC-1	Since	280	8''	Betulia	Arcilla con intercalaciones de arenas finas	SEV 53 I A-7
SJ-SU-SC-2	Since	249	8''	Betulia	Arcillas arenosas pocas int. de arenas finas	SEV 53 I A-18
SJ-SU-SP-1	San Pedro	200	8''	Betulia	Int. Arena-arcilla 140 Arcilla	SEV 45 III A-9 Cond. acuíferas limitadas
SJ-SU-SP-2	San Pedro	250	8''	Betulia	Int. Arena - arcilla Arcilla ??	SEV 45 III C-2 Cond. acuíferas limitadas
SJ-SU-SP-3	San Pedro	261	8''	Betulia	Arenas finas, arenas arcillosas	SEV 45 III A-36 N.E. ≈ 90 m
SJ-SU-SP-4	San Pedro	245	8''	Betulia	Arenas finas, arenas arcillosas, Arcilla	SEV 45 III C-16 N.E. ≈ 90 m;
SJ-SU-BU	Buenavista	181	8''	Betulia	Arena fina-arena arcillosa Int. arcillas	SEV 45 III D-17 N.E. ≈ 42 m
SI-SU-RO-1	Rovira	68	8''	Betulia	Arena fina - arena arcillosa Int. arcilla	SEV 45 III C-52 N.E. profundo(?)
SJ-SU-RO-2	Rovira	133	8''	Betulia	Arena fina. Int. arcilla (hasta 70 m) arcilla	SEV 45 III C-6 N.E. profundo(?)
SJ-SU-GA-1	Galeras	60	8''	Betulia	Arena fina - arena arcilla (hasta 40 m)	SEV 53 I C-3
SJ-SU-GA-2	Galeras	100	8''	Aluvial (16 m) Betulia	Arena arcillosa (hasta 60 m) Arcilla	SEV 53 I C-10

TAB. 4: Pozos de producción

POZOS	LOCALIDAD	PROF. (m)	Ø	TRAMOS FILTROS PROF.(m)	Ø	UBICACION ESTRATIGRAF. DE LOS FILTR.	CAUDAL (LPS)	N.E.	N.B.	T m ² /día	S
CO-CH-16	Chinú	149	8"	108 - 113 116 - 122 128 - 145	6" 6" 6"	Betulia Betulia Betulia	15			120	
SU-CH-1	Chapinero	136	6"	73 - 74,6 105 - 107 114 - 117 127 - 129 131 - 132	6" 6" 6" 6" 6"	Betulia Betulia Betulia Betulia Betulia	12				
SU-CO-24	Corozal	234	12"	70 - 144 148 - 216 223 - 230	10" 10" 10"	Morroa Morroa Morroa	99	15,7	50	400	
SU-CO-25	Corozal	207	12"	80 - 88 101 - 115 116 - 179 184 - 202	12" 10" 8" 8"	Morroa Morroa Morroa Morroa	89	39	61	200	
SU-CO-26	Corozal	241	15"	85 - 95 106 - 116 118 - 125 142 - 153 157 - 162 182 - 226 230 - 236	15" 10" 10" 10" 10" 8" 8"	Morroa Morroa Morroa Morroa Morroa Morroa Morroa	53	2,60	47	140	7 x 10 ⁻⁴
SU-CO-27	Corozal	242	12"	92 - 102	10"	Morroa?					
SU-CO-27	Corozal			121 - 126 132 - 137 162 - 172 188 - 212 231 - 236	10" 8" 8" 8" 8"						
SU-TO-6	Tolú	35	8"	20 - 30	8"	Aluvial	9,8	4,5	116	83	
SU-SC-3	Since	256	8"	175 - 181 184 - 190 221 - 230 240 - 249	6" 6" 6" 6"	Betulia Betulia Betulia Betulia	16	83,5	127	45	
SU-LL-1	Las Llanadas	20					4				
SU-SP-1	San Pedro	249	10"	122 - 125 136 - 145 210 - 243	10" 10" 6"	Betulia Betulia Betulia	15	> 90			
SU-SP-2	San Pedro	251	10"	154 - 162 222 - 250	8" 8"	Betulia Betulia	15	> 90			
SU-GA-1	Galeras	68	9"	40 - 48 53 - 58 60 - 65	9" 9" 9"	Betulia Betulia Betulia	9,8	10		90	4 x 10 ⁻⁴

En la región de Sahagún, hacia el sur del área de estudio, el acuífero podría estar constituido por la Formación Cerrito, donde en general no se detectan basamentos arcillosos sino a profundidades entre 200 y 300 m.

El acuífero constituido por los sedimentos arenosos y areno-arcillosos de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo, tiene niveles estáticos entre 0.2 y 2.80 m de profundidad y sus pozos de producción presentan capacidades específicas del orden de 1 lps/m.

El acuífero constituido por la Formación Morroa tiene niveles estáticos desde superficiales hasta 2.50 m de profundidad y las capacidades específicas de los pozos en ella construidos, varían de 0.5 a 1.2 lps/m.

Los pozos que captan agua proveniente de la Formación Betulia tienen un nivel estático que varía de 25 a 43 m de profundidad y una capacidad específica que se encuentra entre 0.4 y 0.13 lps/m.

En general las aguas subterráneas presentes en el área de estudio, tienen un alto contenido de sólidos disueltos totales, especialmente bicarbonatos y cloruros, siendo comunes los valores de resistividad para aguas que se consideran dulces, entre 12 ohm-m (83 m S/m) y 30 ohm-m (33 m S/m), para aguas consideradas salobres entre 3 ohm-m (300 m S/m) y 10 ohm-m (100 m S/m) y para aguas saladas, valores menores de 3 ohm-m.

7. BIBLIOGRAFIA

- BUENO, R., DUQUE, H., 1970.- *Guidebook to the Geology of the Tubará Región, Lower Magdalena Basin*. Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists. 11th field trip., 30 p.
- BURGL, H. y BARRIOS, M., 1954.- *Moluscos y formaciones de terciario de Sincelejo. Departamento de Bolívar*. Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- CAMACHO, R., 1967.- *Geología del Cuadrángulo D-8 Arjona (1:100.000)*. En preparación. Bogotá.
- CACERES, J. y DE PORTA, J., 1972.- *Contribution à la géologie de la Serranía de San Jacinto entre Tolúviejo et Chalán*. S.A., C.R.S. Soc. Geol. France.
- , 1978.- *Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. Inf. 1750*. Ingeominas, Bogotá.
- , 1979.- *Major Structural elements and evolution of north western Colombia*. In Watkins, J. S., and others, eds. *Geological and geophysical investigations of continental margin*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 29, pp. 329-351.
- , 1984.- *Estudio estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del Terciario Sinú - San Jacinto en el noroccidente de Colombia*. Bol. Geol. 27 (2): 1 - 29. Bogotá.
- DUEÑAS, H. y DUQUE, C., 1981.- *Geología del Cuadrángulo F-8*. Ingeominas, Bol. Geol. 24 (1): 1-35. Bogotá.
- DUQUE, C., 1968.- *Observación general a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba*. Bol. Geol. Univ. Ind. de Santander, 24: 71-87. Bucaramanga.
- , 1972.- *Ciclos tectónicos y sedimentarios en el Norte de Colombia relacionados con la Paleoecología*. Bol. Geol. Vol. XIX, No. 3, pp. 2568, Bogotá.
- , 1973.- *Guidebook to the geology of the Montería area*. Col. Soc. Petrol. Geol. Geoph. Ann. Conf. 14, Bogotá, 1-49.
- , 1974.- *Los foraminíferos planctónicos y el Terciario de Colombia*. Rex. Esp. Micropal (Madrid) 7 (3): 403-427.

- HAFFER, J., 1960.- *Geological Climatic History and Zoogeographic significance of the Urabá region northwestern Colombia*. *Caldasia*, 10 (50): 603-636.
- HUGUETT, A., et al, 1985.- *Hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique*. Inf. 1971. Ingeominas, Bogotá.
- KASSEM, T., CACERES, C. y CUCALON, I., 1967.- *Geología del Cuadrángulo E-8 Sincelejo*. En publicación. Serv. Geol. Nal. Bogotá.
- PETTERS, V., SARMIENTO, R., 1956.- *Oligocene and Lower Miocene Biostratigraphy of the Carmen - Zambrano área, Colombia*. *Micropaleontology*, 2 (1): 7-35.
- RODRIGUEZ, C., ZAPATA, G. y SANCHEZ, L., 1977.- *Estudios de parámetros hidrogeológicos en el Grupo Corozal con técnicas isotópicas*. Informe final, IAN. Primera parte. Instituto de Asuntos Nucleares. Bogotá.
- WERENFELS, A., 1926.- *Una sección estratigráfica a través del terciario de Tolúviejo, Colombia*. *Eclog. Geol. Helvet.* Vol. 20: 79-84.

— * —

ANEXO 1

SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (S.E.V.)

REFERENCIADOS EN EL TEXTO

